

論文

RC 床版内部水平ひび割れの発生メカニズムに関する一検討

小松代亮磨*, 大西弘志**, 岩崎正二***, 出戸秀明***

* 岩手大学大学院, 工学研究科社会環境工学専攻 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田 4 丁目 3 - 5)

** 工博, 岩手大学准教授, 工学部社会環境工学科 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田 4 丁目 3 - 5)

*** 工博, 岩手大学教授, 工学部社会環境工学科 (〒020-0066 岩手県盛岡市上田 4 丁目 3 - 5)

RC 床版内部において発生することが認められる水平ひび割れは, 発生を確認することが難しい損傷であると同時にその剛性に多大な影響を与える. 本研究では, 水平ひび割れの発生要因の一つとしてコンクリートの若材齢時に発生する収縮ひずみに着目し, 実橋梁のサイズ・施工条件を想定し, 有効引張ひずみおよび発生応力に着目した温度応力解析を行った. 本論文では圧縮側主鉄筋近傍のひずみの発生状況について検討を加える.

キーワード: 水平ひび割れ, 若材齢時, 収縮ひずみ, 温度応力解析

1. はじめに

RC 床版の輪荷重による疲労に関する研究はこれまでに数多くなされている. 床版の疲労損傷の進展メカニズムは明らかにされているといわれているが, 全ての事象が解明されているわけではない. 特に床版内部の水平ひび割れ (図 1) についてはその発生と進展が床版の剛性を大幅に低下させるにもかかわらず, その発生時期や進展過程は明らかになっていない. そこで, 本研究では床版内部の若材齢時のコンクリートの収縮ひずみに着目した解析を行い, これが床版内部の水平ひび割れ発生に関係する可能性があるのかどうかの検討を行った.

2. 解析概要

本研究では, コンクリート打設直後に発生する収縮等に伴う圧縮側鉄筋周辺の有効引張ひずみや発生応力に着目し, 解析による検討を行うことにした. 本研究では ASTEA MACS²⁾ を使用し, 実橋梁のサイズ・施工条件を想定して温度応力解析を行った.

本章で想定する実橋梁 RC 床版の設計条件は, 床版支間 3m, 橋軸方向長さ 4m, 大型車両の計画交通量が 1 日 1 方向 500 台未満の単純版とした. 図 2 に今回使用した解析モデルの概要を示す. このモデルは長さが 4000mm, 幅が 3000mm, 厚さが 255mm であり, 主鉄筋には D19 を圧縮側に 230mm 間隔, 引張側には 115mm 間隔, 配力鉄筋には D16 を圧縮側に 200mm, 引張側に 100mm で配置しているものとなっている. 解析時に想定したコンクリート配合を表 1 に, 使用した材料の物性値を表 2 に示す. セメントには早強ポルトランドセメント

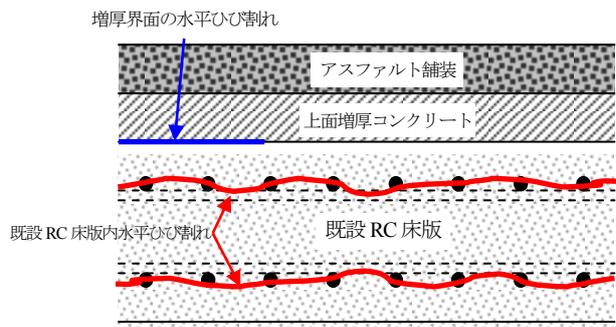


図 1 RC 床版内の水平ひび割れ

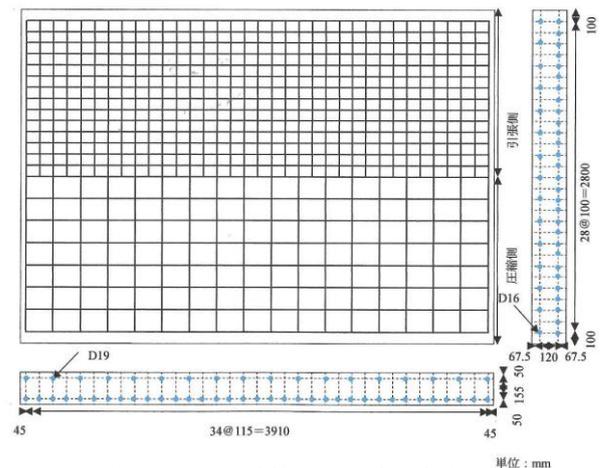


図 2 想定実橋梁 RC 床版概要

表 1 コンクリート配合

Gmax (mm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位質量(kg/m ³)						
				W	C	S	G	膨張材	減水剤	AE 剤
20	5	44.7	44.5	170	380	769	977	0	有	有

を想定した解析を行っている。コンクリート及び鉄筋はソリッド要素でモデル化し、計算自体は図2に示すモデルの対称性を勘案して1/4モデルで行った。境界条件としては試験体の対称面は断熱状態にし、面に対して垂直方向に拘束を与えている。外側面と底面はメタルフォーム(熱伝導率:14W/m²C)により拘束され、上面は外気(熱伝導率:14W/m²C)に触れている状態として扱った。本研究での解析で着目した部位を図3に示す。着目した断面は、Y軸支間中央断面(section1:Y=0mm), Y軸支間1/4断面(section2:Y=700mm), Y軸支間端部付近断面(section3:Y=1400mm)の3断面にした(図3(a))。これらの各断面で圧縮側主鉄筋近傍のコンクリート要素(No.1, No.2), 圧縮側主鉄筋と引張側主鉄筋間のコンクリート要素(No.3, No.4), 引張側主鉄筋近傍のコンクリート要素(No.5, No.6)の6箇所の要素に着目することにした(図3(b))。なお、主鉄筋近傍の要素(No.1, No.2, No.5, No.6)に関しては要素を細かく区切り、解析による鉄筋近傍のコンクリート要素の挙動のデータを基に、主鉄筋表面から1mm離れた要素に着目した(図3(c))。

3. 解析結果

(1) 温度応力解析の結果

図4にsection1の各着目部位の温度時刻歴を示す。この図から水和発熱最高温度はモデル中心部No.3が36.4°Cで最も高く、型枠側引張主鉄筋近傍のNo.6が29.6°Cと最も低くなっていることがわかる。図5には着目点における主応力時刻歴を示す。主鉄筋近傍の要素であるNo.1, No.2, No.5, No.6では材齢60日で約5.5N/mm²の引張応力を示し、Ft(引張強度)を大きく超える値であるのに対して、No.3, No.4はそれぞれ3.5N/mm², 0.3N/mm²の引張応力を示した。ひび割れの原因となりうる主引張応力が主鉄筋近傍、特に圧縮側主鉄筋で最も大きくなることがわかった。

図6にsection2の各着目部位の温度時刻歴を示す。section1と同様、水和発熱最高温度はモデル中心部No.3が36.3°Cで最も高く、型枠側引張主鉄筋近傍のNo.6が29.6°Cと最も低い結果となった。図7には主応力時刻歴を示す。主応力も主鉄筋近傍の着目部位でFtを大きく超えており、section1と同様の結果であった。

図8にsection3の各着目部位の温度時刻歴を示す。section1およびsection2と同様、水和発熱最高温度はモデル中心部No.3が32.6°Cで最も高く、型枠側引張主鉄筋近傍のNo.6が27.7°Cと最も低い結果となった。図9には主応力時刻歴を示す。この結果より、材齢60日でNo.4以外の着目部位でFtを超える引張主応力が発生していることはsection1およびsection2の結果と同様であるが、section3では各主鉄筋近傍要素で発生する引張主応力にも明確な値の差が生じていることがわかる。

表2 解析物性値¹⁾

項目	コンクリート	鉄筋
熱伝導率 (W/m°C)	2.7	51.3
密度 (kg/m ³)	2400	7850
比熱 (kJ/kg°C)	1.15	0.47
初期温度 (°C)	10	10
断熱温度上昇特性(°C)	$Q(t) = K(1 - e^{-at})$	-
ヤング率 (N/mm ²)	$\phi \times 6300 \times f_c(t)^{0.45}$	2.00E+05
圧縮強度 (N/mm ²)	$\{t/(a+bt)\} \times d(i)f_{ck}$	500
引張強度 (N/mm ²)	$0.44 \times f_c(t)^{1/2}$	500
ポアゾン比	0.2	0.3
線膨張係数(10 ⁻⁶ /°C)	10	10
乾燥収縮ひずみ(×10 ⁻⁶)	JSCE 実験式	-

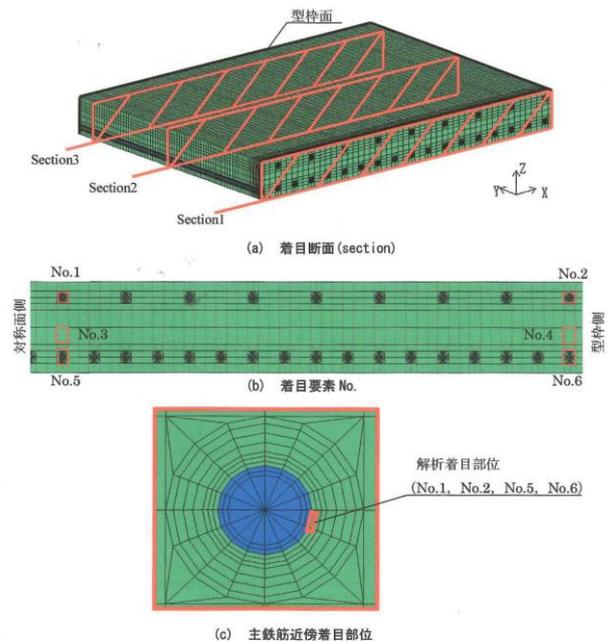


図3 解析着目点

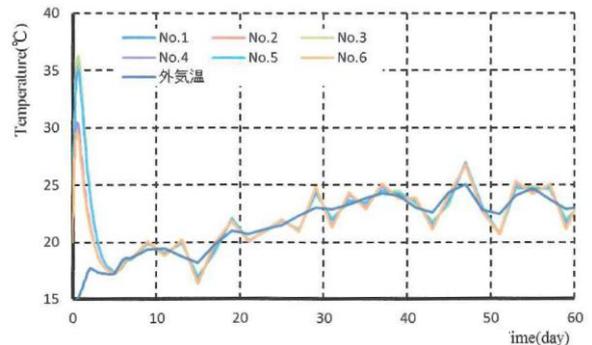


図4 温度時刻歴 (section1)

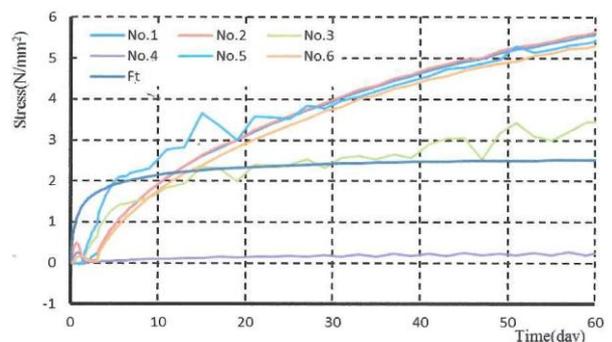


図5 主応力時刻歴 (section1)

(2) 主応力ベクトルに着目した解析の結果

図 10 に示すように、主鉄筋表面から距離 d だけ離れたコンクリートの主応力に着目し、section1 および section3 の主鉄筋近傍 (No.1, No.2, No.5, No.6 付近の主鉄筋) の主応力ベクトルおよび主鉄筋表面からの距離と主応力の大きさについての関係について解析した。

図 11 から図 14 に section1 の着目部位の材齢 60 日における主応力時刻歴を示す。No.1, No.2, No.6 は材齢 60 日で主鉄筋表面から 5mm 内のコンクリート要素には F_t (引張強度) を超える主引張応力が発生していることが判る。No.5 はおよそ材齢 5 日の時点で主鉄筋表面から 30mm 離れているコンクリートにも F_t を超える主引張応力が発生していることが認められる。

図 15 から図 18 に section3 の着目部位の材齢 60 日における主応力時刻歴を示す。No.1, No.5, No.6 は材齢 60 日で、主鉄筋表面から 30mm 内のコンクリートには F_t を超える主引張応力が発生しており、No.2 は材齢 60 日で主鉄筋表面から 5mm 内のコンクリートに F_t を超える主引張応力が発生している。

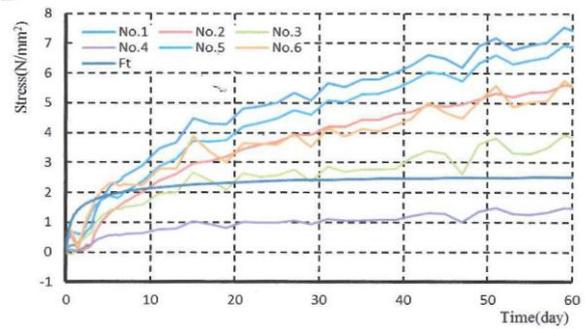


図 9 主応力時刻歴 (section3)

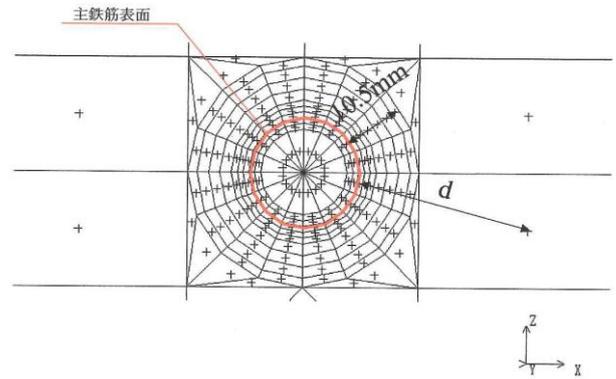


図 10 主鉄筋近傍着目部位

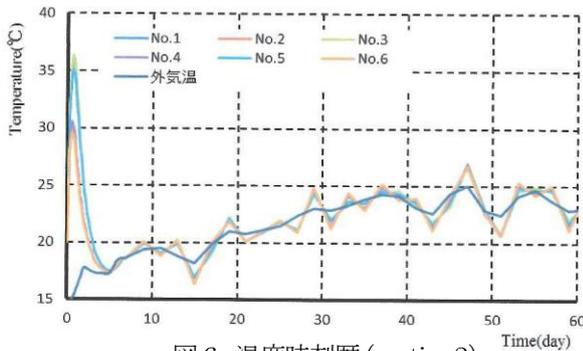


図 6 温度時刻歴 (section2)

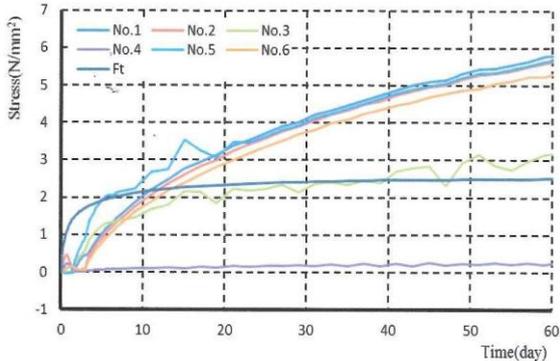


図 7 主応力時刻歴 (section2)

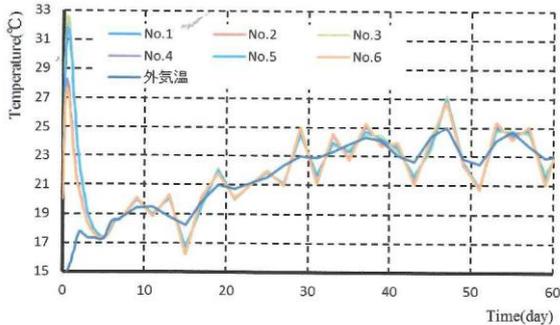


図 8 温度時刻歴 (section3)

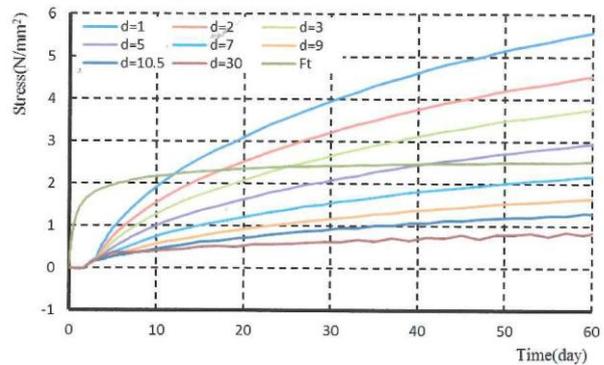


図 11 主応力時刻歴 (No.1)

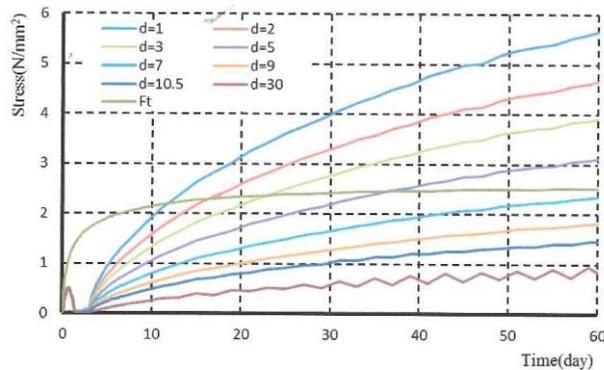


図 12 主応力時刻歴 (No.2)

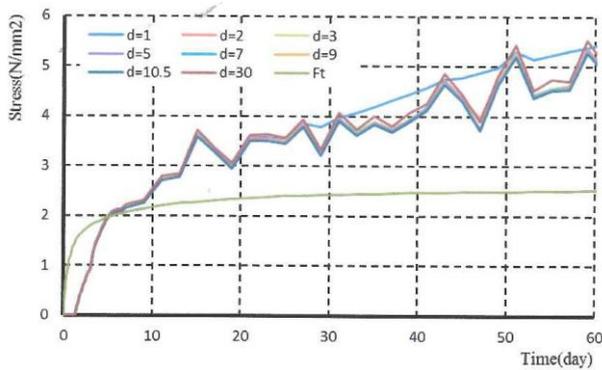


図 13 主応力時刻歴 (No.5)

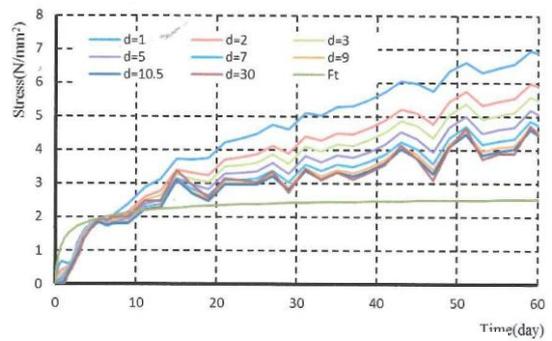


図 17 主応力時刻歴 (No.5)

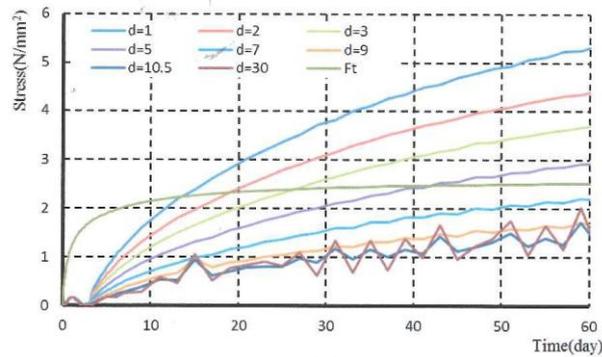


図 14 主応力時刻歴 (No.6)

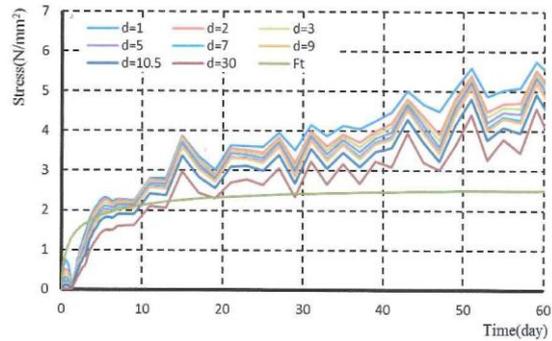


図 18 主応力時刻歴 (No.6)

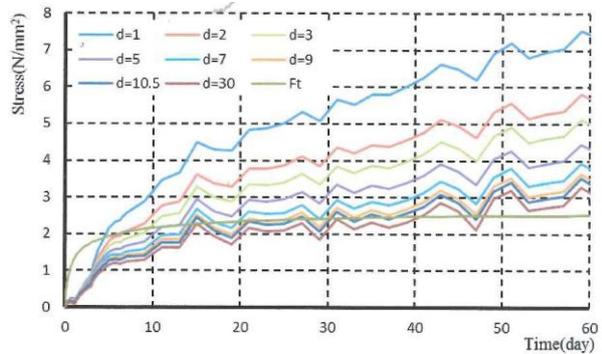


図 15 主応力時刻歴 (No.1)

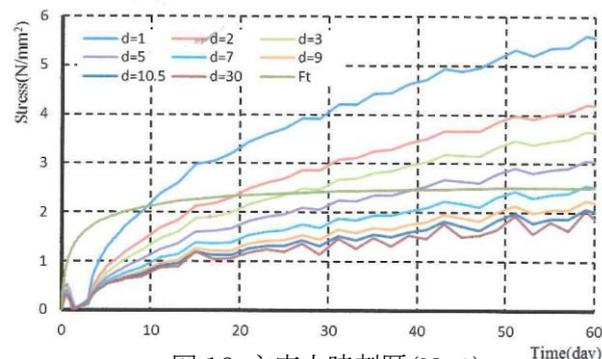


図 16 主応力時刻歴 (No.2)

4. まとめ

床版支間軸方向における着目断面で任意の部位の温度、応力に着目したところ、主鉄筋近傍ではコンクリートの収縮に対し、主鉄筋の局所的な拘束が働いており主鉄筋軸方向および鉛直方向に引張応力が発生していた。水平方向のひび割れの原因になり得る鉛直方向の応力発生は、水和発熱最高温度の高さにはなく、鉄筋のような外部拘束の有無および鉄筋表面との距離に起因する可能性が認められた。

また、最終的にひび割れに寄与する主引張応力についての検討を行ったところ、支持桁上フランジと接していることを想定している部位に近くかつ水和発熱温度の低い部位の主鉄筋近傍において、鉛直方向のベクトルを持った主引張応力が発生することが解析結果から認められた。

以上の結果から、支持桁付近が輪荷重によるせん断力が卓越する部位であることを考慮すると、上記した部位において材齢初期に微細なひび割れが発生していた場合、走行輪荷重の繰り返しにより発生する垂直せん断力やねじりせん断力により、ひび割れが水平方向に開口していく可能性は十分にあると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：2007年度制定コンクリート標準示方書〔設計編〕，丸善，2008.3
- 2) 温度応力解析専用プログラム ASTEA MACS ver.8 機能の概要，株式会社 計算力学研究センター，www.rccm.co.jp > ASTEA MACS